

**СВАРКА ТРУБ С СИЛИКАТНО-ЭМАЛЕВЫМ ПОКРЫТИЕМ**

© 2015

*А.И. Ковтунов*, доктор технических наук,

профессор кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

*Н.С. Алексеев*, магистрант кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»*Д.И. Плехотный*, аспирант кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»*О.В. Танасов*, магистрант кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**Ключевые слова:** дуговая сварка; силикатно-эмалевое покрытие; электродная проволока; цветные металлы; сварочная ванна; структура шва.

**Аннотация:** Трубы с силикатно-эмалевым покрытием широко применяются в теплоэнергетике, химическом и нефтехимическом машиностроении, в нефтедобыче и транспортировании нефти. Трубы с внутренним силикатно-эмалевым покрытием рекомендуются нормативной документацией для строительства систем пожаротушения резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Надежность эксплуатации трубопроводов определяется коррозионной стойкостью внутренней поверхности сварного соединения. При сварке трубопроводов с силикатно-эмалевым покрытием в зоне термического влияния в результате высокотемпературного воздействия происходит выгорание, испарение эмали, а также образования пор, пузырьков, макро-, микротрещин.

Для снижения теплового воздействия на силикатно-эмалевое покрытие предложено заменить стальную основу шва на сплавы цветных металлов с более низкой температурой плавления. В качестве таких металлов с учетом температуры плавления выбраны цинк, медь и сплавы на основе меди, никель и сплавы на основе никеля.

Проведенные испытания механических свойств сварных соединений показали целесообразность применения в качестве электродного материала при механизированной сварке труб с внутренним силикатно-эмалевым покрытием сплавов на основе меди и никеля. При применении указанных электродных материалов механические свойства сварных соединений находятся на уровне, который обеспечивается при сварке стальной электродной проволокой Св-08Г2С.

Анализ состояния и химического состава силикатно-эмалевого покрытия подтвердил эффективность применения электродных материалов на основе кремнистой бронзы  $\text{CuSi3}$ . Механизированная сварка с использованием электродной проволоки  $\text{CuSi3}$  обеспечила минимальное разрушение и изменение химического состава силикатно-эмалевого покрытия.

**ВВЕДЕНИЕ**

Высокие требования, предъявляемые к долговечности и надежности эксплуатируемых трубопроводных систем, определяют необходимость обеспечения высокоэффективной антикоррозионной защиты труб и их сварных соединений.

Одним из наиболее эффективных способов антикоррозионной защиты труб является заводское нанесение антикоррозионных покрытий. В качестве таких покрытий достаточно широко используются эмали. Применение эмалей для защиты внутренней поверхности труб в теплоэнергетике, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, а также изделий химического машиностроения продлевает срок их службы в 4...5 раз [1].

Трубы с внутренним силикатно-эмалевым покрытием рекомендуются нормативной документацией для строительства систем пожаротушения резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Коррозионная надежность трубопроводов системы пожаротушения резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов из эмалированных труб определяется коррозионной стойкостью внутренней поверхности сварного соединения. При сварке трубопроводов обратный вал шва не имеет защитного покрытия, и кроме того, в зоне термического влияния в результате высокотемпературного воздействия происходит выгорание, испарение эмали, а также образование пор, пузырьков, макро-, микротрещин [2–4].

Для создания защитного покрытия на обратной стороне шва применяется сварка по слою фритты, которую предварительно наносят на торцы эмалированной трубы или сварку с применением эмалированной втулки (манжеты). С целью повышения коррозионной стойкости обратной стороны шва рекомендуется для сварки труб применять высоколегированные коррозионно-стойкие электроды [2].

Для уменьшения разрушения эмали рекомендуется процесс сварки проводить с минимальным тепловым воздействием на эмаль [5–9]. Это реализуется при сварке на минимальном токе, а также, по мнению ряда исследователей [5], обеспечить приемлемые тепловые условия в сварном соединении без ущерба для его качества можно путем использования пульсирующих термических циклов по типу приведенных в работе [6]. Такие условия нагрева и охлаждения могут обеспечить импульсно-дуговая сварка [6; 7] дугой постоянной мощности с колебаниями электрода [8] и сварка многослойными швами [9]. Несмотря на преимущества последнего варианта, высокотемпературное воздействие на эмаль не устраняется и остается необходимость защиты обратной стороны шва от коррозии.

Поэтому предлагается кардинально изменить тепловые условия сварки, а точнее уменьшить температуру сварки до температуры выгорания эмали. Для этого необходимо заменить стальную основу шва на сплавы цветных металлов с более низкой температурой плавления.

В качестве таких материалов можно использовать цинк, медь, никель и сплавы на их основе [10–13]. Кроме того, перечисленные металлы и сплавы на их основе отличаются высокой коррозионной стойкостью в щелочных средах, к которым относится пенообразователь, применяемый в системах пожаротушения вертикальных резервуаров.

Таким образом, целью работы является снижение степени разрушения эмалевого покрытия труб при сварке за счет применения электродных или присадочных материалов из цветных металлов или сплавов с более низкой температурой плавления, чем стали.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения возможности применения указанных материалов в качестве присадочных или электродных при сварке труб с внутренним эмалевым покрытием была проведена серия экспериментов. Сварку труб диаметром 159 мм и толщиной 5 мм с внутренним силикатно-эмалевым покрытием КФ-90 проводили с использованием электродной проволоки Св-08Г2С, Св-04Х19Н9, М1, CuSi3, НП-2, Х20Н80, Ц1 диаметром 1,2 мм. Сварку выполняли на постоянном токе обратной полярности. При использовании электродной проволоки из цветных металлов или сплавов на их основе в качестве защитного газа применяли аргон, а при сварке стальной проволокой – CO<sub>2</sub>. Для сварки использовали источник питания с подающим механизмом Megatronic BDH – 550. Напряжение в зависимости от состава проволоки составляло при сварке 15–26 В, скорость сварки 0,2–0,4 м/мин, а скорость подачи электродной проволоки в пределах 1,5–3 м/мин. Подготовка и сборка трубных образцов проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 16037-80. Образцы собирались и сваривались с помощью горизонтального вращателя. Кроме того, для оценки особенностей физико-химического взаимодействия эмалевого покрытия с электродным материалом проводили наплавку на плоские образцы с эмалевым покрытием без удаления эмали.

Механические свойства сварных соединений определяли путем испытаний на статическое растяжение плоских образцов (ГОСТ 6996-66).

Структура, элементный состав металла шва и эмалевого покрытия контролировались на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (ZEISS, Германия) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300 и рентгеновского волнового спектрометра INCA Wave-500.

Результаты и обсуждение результатов исследования

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования процессов сварки сталей с эмалевым покрытием с применением присадочных материалов из цветных металлов показали, что прочность сварных соединений с применением медной проволоки находилась в пределах 250 МПа, а относительное удлинение на уровне 27 % (рисунок 1). Повышение прочности и снижение пластичности металла шва по сравнению с механическими свойствами меди связано с легированием железом меди в процессе сварки [14]. При этом прочность металла шва при использовании стальной проволоки Св-08Г2С составили 300–400 МПа, а при использовании проволоки Св-04Х19Н9 временное сопротивление при растяжении доходило до 600 МПа. Значение относительного удлинения металла шва при использовании проволоки Св-08Г2С не превышало 30 %, а проволоки Св-04Х19Н9 – на уровне 35 %. Использование проволоки из кремнистой бронзы повысило прочность при растяжении до 350 МПа при относительном удлинении не выше 23 %.

Применение никеля значительно не повысило прочностных свойств сварных соединений. Прочность находилась на уровне 250–270 МПа, а относительное удлинение на уровне 27 %. Сварка электродной проволокой Х20Н80 позволила повысить прочность сварных соединений практически до 500 МПа. Пластичность при этом была ниже, чем при использовании никеля. Применение цинковой электродной проволоки обеспечило прочность сварного соединения не более 150 МПа.

Металлографические исследования и исследования химического состава металла шва и эмалированного покрытия показали, что при использовании электродной проволоки Св-08Г2С формируется феррито-перлитная структура металла шва. Содержание железа в металле шва изменяется в пределах 97,25–97,64 %, кремния – 0,74–0,85 %, марганца – 1,43–1,73 %. На границе контакта эмалевого покрытия с металлом сварочной ванны покрытие оплавляется. В покрытии видны поры и трещины, появившиеся в результате теплового воздействия на эмалевое покрытие (рисунок 2, таблица 1). В составе покрытия повышенное содержание оксидов железа.

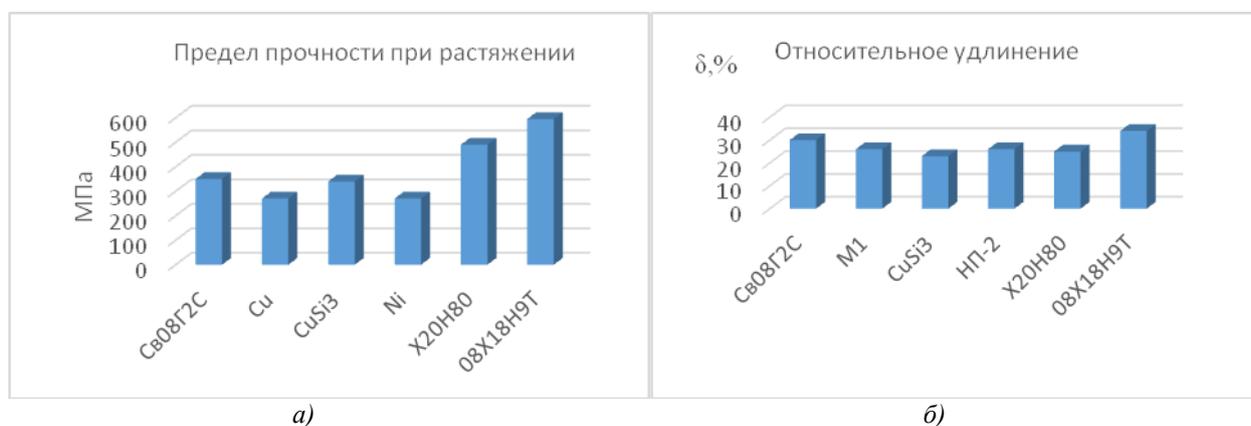


Рис. 1. Механические свойства сварных соединений труб с эмалевым покрытием: а) предел прочности при растяжении; б) относительное удлинение

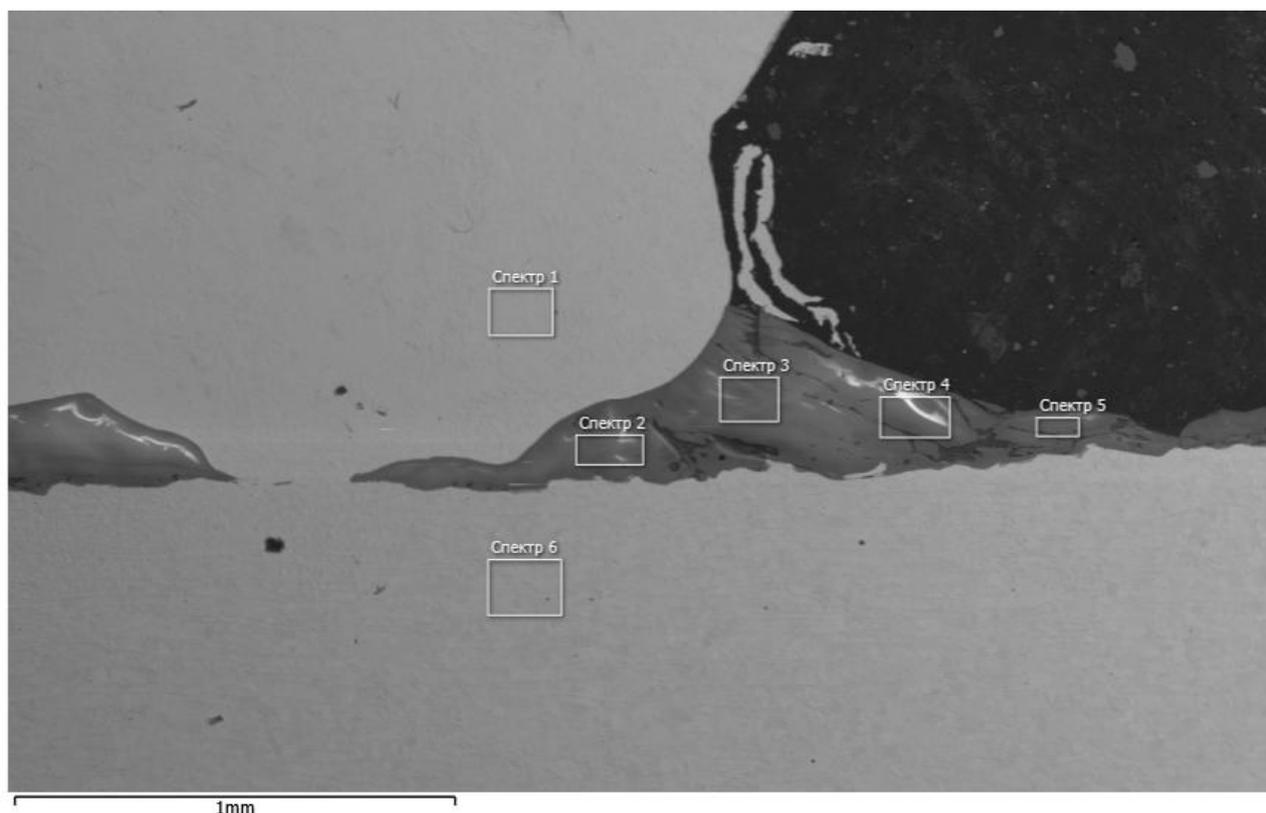


Рис. 2. Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки Св-08Г2С

Таблица 1. Химический состав металла и эмалевого покрытия

Название спектра	В	О	Na	Mg	Al	Si	К	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Сумма
Спектр 1						0,86				1,66	97,48		100,00
Спектр 2	13,63	51,86	6,89		0,72	18,83	0,90	2,28	1,48	2,13	1,28		100,00
Спектр 3		61,79	8,79		0,87	20,96	0,63	1,75	1,08	3,16	0,97		100,00
Спектр 4	20,42	50,72	6,99	0,20	0,94	15,68	0,87	1,80	1,24	0,56	0,37	0,21	100,00
Спектр 5		58,52	10,04	0,26	1,63	22,42	1,25	2,63	1,72	0,68	0,57	0,26	100,00
Спектр 6					0,14	0,70				1,52	97,64		100,00

Практически однофазная аустенитная структура формируется при сварке эмалированных труб с применением присадочной проволоки Св-04Х19Н9. При сварке проволокой Св-04Х19Н9 поведение эмалевого покрытия аналогично поведению при использовании проволоки Св-08Г2С. В зоне термического влияния вследствие высокотемпературного воздействия наблюдается разрушение эмалевого покрытия. В области, прилегающей к металлу шва, в покрытии присутствуют включения оксида железа и оксида хрома.

Применение никелевой электродной проволоки позволяет формировать металл шва на основе  $\gamma$ -фазы, представляющей твердый раствор железа в никеле [15]. Металл шва по сравнению с применением стальной проволоки содержит значительное количество пор размером до 0,2 мм. Повышенная пористость объясняется природной склонностью никелевых сплавов к газонасыщению [16].

Химический состав металла шва неоднороден. Содержание никеля уменьшается от центра к линии сплавления и от облицовочного слоя к корневому. Со-

держание железа по сечению металла шва изменяется противоположно. Содержание никеля находится в пределах 58,5–84,3 %, а железа – 15,7–40,5 %. В качестве технологических примесей наблюдается присутствие марганца, кремния. Содержание марганца составляет 0,3–0,6 %, кремния – 0,2–0,4 %.

Эмалевое покрытие при взаимодействии с расплавленным никелем частично оплавляется. Химический состав покрытия на линии сплавления изменяется, что можно видеть по карте распределения элементов. На границе сплавления в эмалевом покрытии пониженное соединение оксида кремния и титана. В составе покрытия появляются соединения железа и никеля, вероятно – оксиды (рисунок 3, таблица 2).

Применение электродной проволоки на основе сплава Х20Н80 объясняется стремлением к снижению температуры сварочной ванны и повышению механических свойств металла шва [17; 18]. Нихромы отличаются более низкой температурой плавления, чем никель [16; 19].

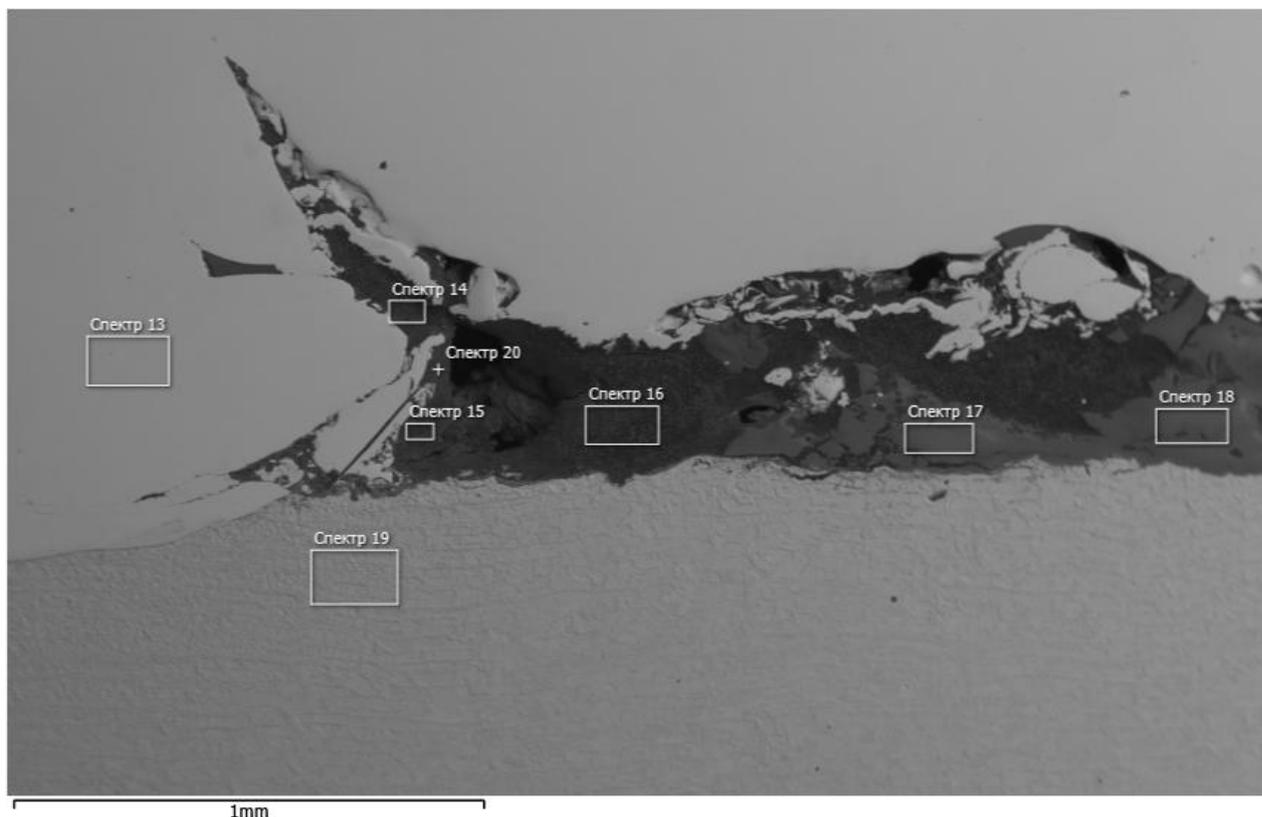


Рис. 3. Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки НП2

Таблица 2. Химический состав металла и эмалевого покрытия

Название спектра	B	C	O	Na	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Zn	W	Сумма
Спектр 13											99,61		0,39	100,00
Спектр 14		61,50	21,37		11,16	0,12				3,70	1,98	0,16		100,00
Спектр 15		63,62	23,82		0,31	0,30	0,35			8,78	2,37	0,45		100,00
Спектр 16		60,64	20,83		16,95					1,31	0,27			100,00
Спектр 17	8,24	15,18	50,99	6,54	1,28	14,25	1,53	1,06	0,46	0,24	0,24			100,00
Спектр 18	8,21	12,98	52,82	6,34	0,97	15,69	1,44	0,96	0,42		0,18			100,00
Спектр 19						0,68			1,52	97,80				100,00
Спектр 20		60,22	27,70		0,25	0,23	0,75			8,81	1,67	0,37		100,00

Структура металла шва при сварке проволокой Х20Н80 однофазная на никелевой основе. Содержание никеля от 40,8 % до 66,78 %, железа – 12,35–45 %, хрома – 19,73–12,2 %. Технологические примеси – кремний, марганец, а также встречается титан и алюминий, которые попадают в металл шва из нихромовой проволоки. Содержание кремния выше, чем в предыдущих случаях, что также является следствием применения нихрома.

Эмалевое покрытие при сварке с нихромом оплавляется. Покрытие, взаимодействующее с металлом, изменяет свой химический состав. Покрытие насыщается оксидами хрома, алюминия, титана, железа и никеля (рисунок 4, таблица 3).

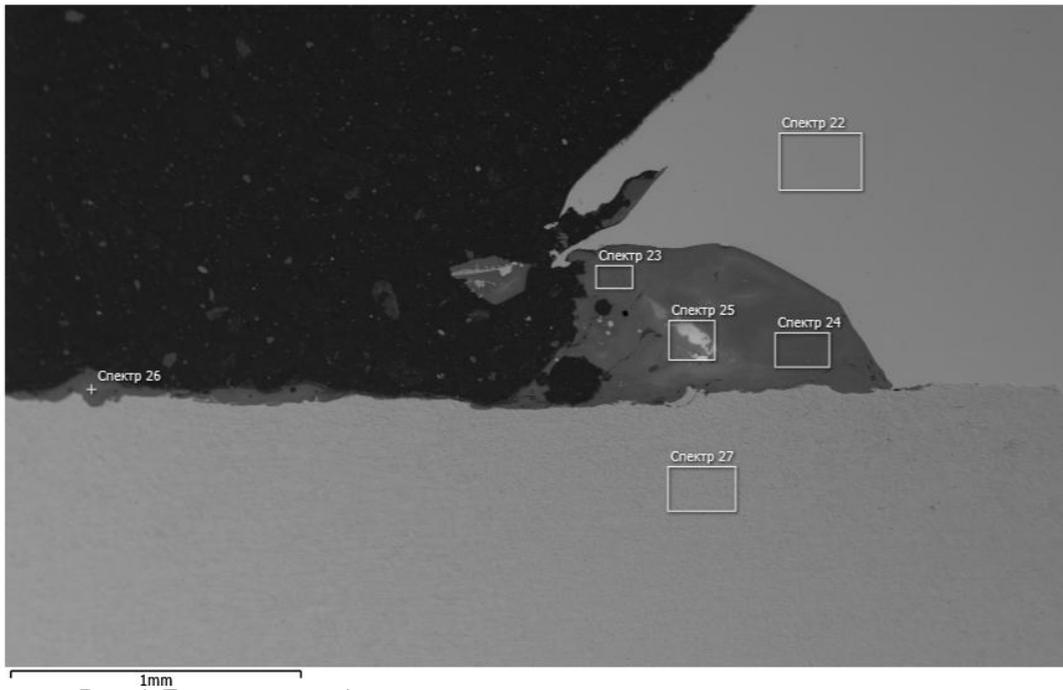
Применение электродной проволоки на основе меди формирует двухфазную структуру металла шва. Матрица при этом представлена  $\epsilon$ -фазой, являющейся твердым раствором железа в меди [15]. В матрице наблю-

даются включения  $\alpha$ -фазы (твердого раствора меди в железе) [20]. Металл шва насыщен газовыми порами, что является следствием повышенной склонности меди к растворению водорода [16].

В облицовочном и заполняющих слоях содержание железа незначительное, не выше 3,56 %. В корне шва содержание железа повышается до 20 %. В качестве примесей в металле шва наблюдаются алюминий, марганец, кремний.

Эмалевое покрытие практически не разрушается. Отсутствует оплавление покрытия. Не наблюдается и химического взаимодействия эмалевого покрытия с металлом шва, так как химический состав эмалевого покрытия на основном металле и в зоне термического влияния практически не изменяется.

Применением электродной проволоки из кремниевой бронзы формируется шов с характерными 2 областями (рисунок 5). Облицовка и заполнение практически



**Рис. 4.** Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки X20H80

**Таблица 3.** Химический состав металла и эмалевого покрытия

Название спектра	B	C	O	Na	Al	Si	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Сумма
Спектр 22						1,23				19,65		10,93	68,18	100,00
Спектр 23		7,22	45,85	6,81	0,92	19,55	1,15	3,01	3,06	9,75	1,93	0,29	0,46	100,00
Спектр 24			46,65	7,23	1,09	22,59	1,15	3,61	3,64	13,43		0,34	0,27	100,00
Спектр 25			58,98	10,06	1,30	21,98		2,18	1,77	3,73				100,00
Спектр 26	17,3		50,92	7,44		18,35	1,17	2,31	1,70			0,81		100,00
Спектр 27						0,65					1,50	97,85		100,00



**Рис. 5.** Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки на основе меди

гомогенны по структуре (двухфазная). На основе медной матрицы наблюдаются включения твердого раствора на основе железа. Корень шва менее гомогенен. Из-за короткого времени существования жидкой фазы в медной матрице встречаются крупные включения железной фазы, не растворившейся в меди. Кремний не образует отдельную фазу, а растворяется в меди.

Содержание меди в металле шва при использовании проволоки из кремниевой бронзы находится в пределах 68,8–91,04 %, железа – 5,06–28,5 %. Распределение основных компонентов аналогично распределению при использовании медной электродной проволоки. В металле шва содержание кремния составляет 0,43–3,29 %. Эмалевое покрытие практически не разрушается. На карте распределения и в зоне термического влияния и на основном металле практически не изменяется цветовая гамма эмалевого покрытия (рисунок 5).

Радикальное снижение температуры сварочной ванны может быть достигнуто при применении в качестве электродной проволоки цинка. Однако низкая прочность сварных соединений ограничивает перспективу применения цинка. Химический и структурный анализ

металла шва показывает, что структура двухфазная. В цинковой матрице равномерно распределены включения равноосной или пластинчатой формы с максимальным размером не более 100 мкм. Исходя из диаграммы состояния, включения представлены фазой  $\zeta$  [15; 20]. Содержание цинка по сечению шва изменяется в пределах 97,65–99,52 %.

Эмалевое покрытие практически не разрушается. Однако химический состав покрытия изменяется. В составе покрытия явно присутствуют оксиды цинка, что, вероятно, изменяет и свойства покрытий (рисунок 6, таблица 4).

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали целесообразность применения для сварки труб с эмалевым покрытием электродной проволоки на основе кремниевой бронзы. Исследования коррозионной стойкости сварных соединений с применением кремниевой бронзы в растворе пенообразователя показали, что стойкость не ниже, чем при использовании образцов из аустенитной стали.

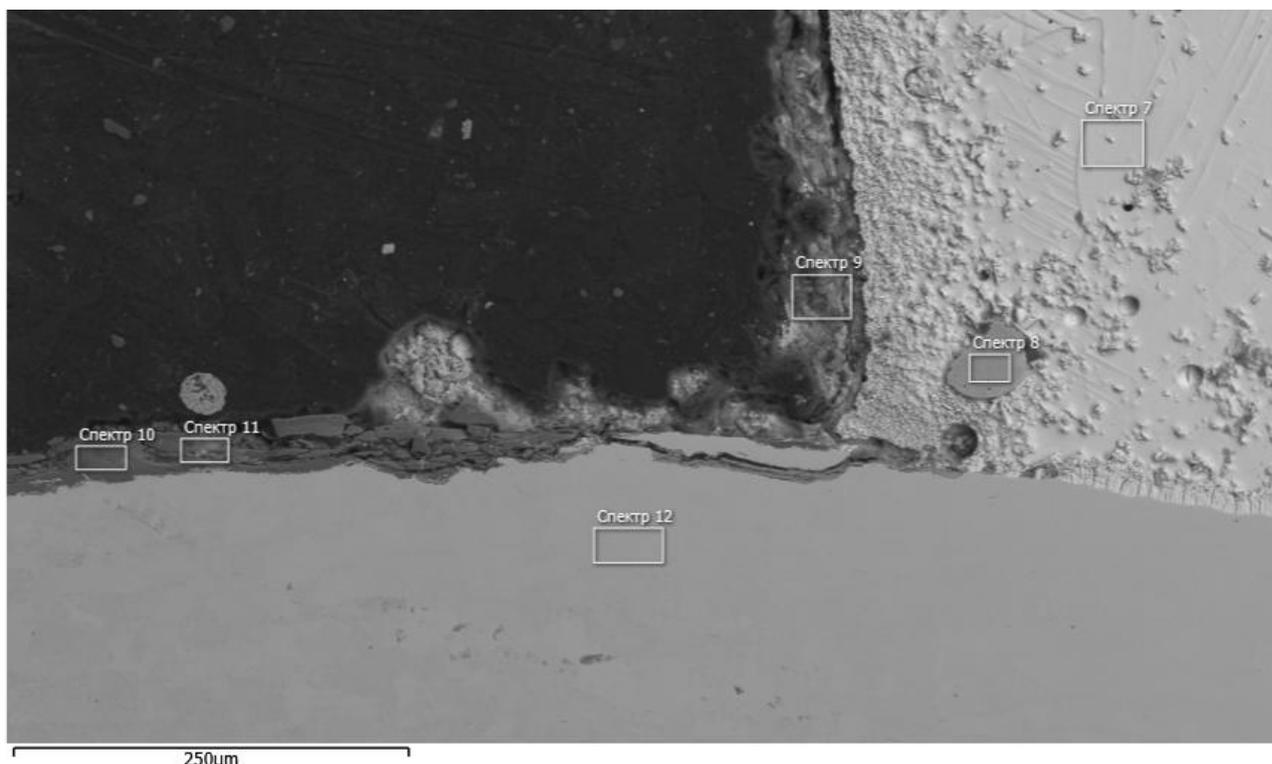


Рис. 6. Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки Ц1

Таблица 4. Химический состав металла и эмалевого покрытия

Название спектра	B	O	Na	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Сумма
Спектр 7										0,21			99,79	100,0
Спектр 8	7,89				17,77			11,67	5,73	45,56	3,20	3,41	2,53	100,0
Спектр 9		19,69	3,59		2,88					2,20			51,44	100,0
Спектр 10	12,23	49,05	6,00		23,58	1,15	1,91	1,46		4,62				100,0
Спектр 11		52,95	5,29	5,63	22,74	1,11	2,51	1,66	0,95	6,66			0,52	100,0
Спектр 12					0,65				1,44	97,91				100,0

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Варгин В.В. Эмалирование металлических изделий. Л.: Машиностроение, 1972. 377 с.
2. Стеклов О.И., Сюй Шиго, Ли Гаочаго, Лошаков А.М., Кармазинов Н.П., Петрусенко Е.В. Технология сварки трубопроводов с двухсторонним эмалевым покрытием // Сварочное производство. 1998. № 2. С. 29–34.
3. Стеклов О.И. Свариваемость металлов и сплавов // Итоги науки и техники. Сварка. Т. 14. М.: ВИНТИ, 1982. 70 с.
4. Технология эмали и эмалирования металлов / под ред. В.В. Варгина. М.: Машиностроение, 1958. 342 с.
5. Савицкий А.М., Ващенко В.Н., Бобров И.В. Особенности сварки изделий с защитным эмалевым покрытием // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 37–39.
6. Дудко Д.А., Савицкий А.М., Савицкий М.М., Олейник Е.М. Особенности тепловых процессов при сварке с термоциклированием // Автоматическая сварка. 1998. № 4. С. 8–12.
7. Вагнер Ф.А. Термоциклирование при сварке вольфрамовым электродом // Сварочное производство. 1980. № 2. С. 4–6.
8. Макара А.М., Мосендз М.А. Сварка высокопрочных сталей. Киев: Техника, 1976. 140 с.
9. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. Т. 2. М.: Металлургия, 1976. 600 с.
10. Ковтунов А.И., Чермашенцева Т.В., Селянин П.Н., Хохлов Ю.Ю. Применение медной присадочной проволоки при сварке стали с алюмокремниевым покрытием // Сварочное производство. 2010. № 8. С. 37–39.
11. Сидоров В.П., Ковтунов А.И., Чермашенцева Т.В., Селянин П.Н., Хохлов Ю.Ю. Исследование процессов аргонодуговой сварки никель-хромовой проволокой стали с двухсторонним алюмокремниевым покрытием // Сварка и диагностика. 2010. № 4. С. 19–21.
12. Ковтунов А.И., Чермашенцева Т.В., Гладуняк В.В. Исследование процессов аргонодуговой сварки сталей, покрытых алюминием, с медной присадочной проволокой // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 1. С. 39–43.
13. Ковтунов А.И. Технология сварки сталей с алюминиевым покрытием с применением проволоки из алюминиевой бронзы // Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства: сб. материалов Всерос. заоч. науч.-техн. конференции. Тольятти: ТГУ, 2011. С. 314–320.
14. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: МИСИС, 1999. 416 с.
15. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа / под ред. О.А. Банных, М.Е. Дрица. М.: Металлургия, 1986. 440 с.
16. Курдюмов А.В., Пикунов М.В., Чурсин В.М., Бибииков Е.Л. Производство отливок из сплавов цветных металлов. М.: МИСИС, 1996. 504 с.
17. Конструкционные материалы / под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.
18. Справочник по конструкционным материалам / под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 640 с.
19. Цветное литье / под общ. ред. Н.М. Галдина. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.
20. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т. 1 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996. 992 с.

**REFERENCES**

1. Vargin V.V. *Emalirovanie metallicheskih izdeliy* [Metal ware enamel coating]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1972, 377 p.
2. Steklov O.I., Syuy Sh., Li G., Loshakov A.M., Karmazinov N.P., Petrusenko E.V. Technology of welding of pipelines with double-sided enamel coating. *Svarochnoe proizvodstvo*, 1998, no. 2, pp. 29–34.
3. Steklov O.I. Metals and alloys weldability. *Itoги nauki i tekhniki. Svarka. Vol. 14.* Moscow, VINITI Publ., 1982, 70 p.
4. Vargin V.V., ed. *Tekhnologiya emali i emalirovaniya metallov* [Enamel and metal enamel coating technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1958, 342 p.
5. Savitskiy A.M., Vashchenko V.N., Bobrov I.V. Special aspects of welding of wares with protective enamel coating. *Avtomaticheskaya svarka*, 2006, no. 3, pp. 37–39.
6. Dudko D.A., Savitskiy A.M., Savitskiy M.M., Oleynik E.M. Special characteristics of thermal processes when welding with thermal cycling. *Avtomaticheskaya svarka*, 1998, no. 4, pp. 8–12.
7. Vagner F.A. Thermal cycling when welding with tungsten electrode. *Svarochnoe proizvodstvo*, 1980, no.2, pp. 4–6.
8. Makara A.M., Mosendz M.A. *Svarka vysokoprochnikh staley* [High-resistance steel welding]. Kiev, Tekhnika Publ., 1976, 140 p.
9. Prokhorov N.N. *Fizicheskie protsessi v metallakh pri svarke* [Physical processes in metals during welding]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976, vol. 2, 600 p.
10. Kovtunov A.I., Chermashentseva T.V., Selyanin P.N., Khokhlov Yu.Yu. Application of copper additional wire while welding steel with aluminosilicic coating. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2010, no. 8, pp. 37–39.
11. Sidorov V.P., Kovtunov A.I., Chermashentseva T.V., Selyanin P.N., Khokhlov Yu.Yu. Study of processes of argon-arc welding of steel with double-sided aluminosilicic coating using nickel-chrome wire. *Svarka i diagnostika*, 2010, no. 4, pp. 19–21.
12. Kovtunov A.I., Chermashentseva T.V., Gladunyak V.V. The research of argon-arc welding of steels covered with aluminum by copper filler wire. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii*, 2011, no. 1, pp. 39–43.
13. Kovtunov A.I. Welding technology of steel with aluminum coating using albronz wire. *Sbornik materialov Vseros. zaoch. nauchno-tekhn. konferentsii «Sovremennye problemi povisheniya effektivnosti svarochnogo proizvodstva»*. Togliatti, TGU Publ., 2011, pp. 314–320.
14. Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka tsvetnikh metallov i splavov* [Metallurgy ant thermal processing

- of non-ferrous metals and alloys]. Moscow, MISIS Publ., 1999, 416 p.
15. Bannykh O.A., Dritsa M.E., eds. *Diagrammy sostoyaniya dvoynikh i mnogokomponentnikh sistem na osnove zheleza* [State diagrams of double and multi-component ferrum-based systems]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986, 440 p.
  16. Kurdyumov A.V., Pikunov M.V., Chursin V.M., Bibikov E.L. *Proizvodstvo otlivok iz splavov tsvetnikh metallov* [Production of non-ferrous metal alloys castings]. Moscow, MISIS publ., 1996, 504 p.
  17. Arzamasov B.N., ed. *Konstruktivnye materialy* [Structural materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, 688 p.
  18. Arzamasov B.N., Solovyeva T.V., eds. *Spravochnik po konstruktivnim materialam* [Structural materials reference book]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2006, 640 p.
  19. Galdin N.M., ed. *Tsvetnoe litye* [Nonferrous castings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989, 528 p.
  20. Lyakishev N.P., ed. *Diagrammy sostoyaniya dvoynikh metallicheskiy sistem* [State diagrams of double metal systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996, vol. 1, 992 p.

## WELDING OF PIPES WITH SILICATE ENAMEL COATING

© 2015

**A.I. Kovtunov**, Doctor of Sciences (Engineering),

Professor of Chair “Welding, pressure materials treatment and related processes”

**N.S. Alekseev**, graduate student of Chair “Welding, pressure materials treatment and related processes”

**D.I. Plakhotny**, postgraduate student of Chair “Welding, pressure materials treatment and related processes”

**O.V. Tanasov**, graduate student of Chair “Welding, pressure materials treatment and related processes”

*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

*Keywords:* arc welding; silicate enamel coating; electrode wire; non-ferrous metals; molten pool; weld composition.

*Abstract:* Pipes with silicate enamel coating are widely used in heat-and-power engineering, chemical and petrochemical manufacturing engineering, oil production and transportation. Pipes with internal silicate enamel coating are recommended by documentary standard for construction of fire-fighting systems for tanks for oil and oil products.

Serviceability of pipelines is determined by corrosion resistance of inside surface of welded joint. While welding pipelines with silicate enamel coating, as a result of high-temperature action, the enamel burning and vaporization, pore formation, bubbling, and macro- and micro crack formation take place in the heat-affected area.

To reduce thermal action on the silicate enamel coating the authors offered to substitute steel weld base with the non-ferrous metal alloys having lower melting point. Zinc, copper and copper-based alloys, nickel and nickel-based alloys were selected to be such metals with allowance for melting point.

Tests of welding joints mechanical properties showed the applicability of copper and nickel alloys as the electrode material for machine welding of pipes with internal silicate enamel coating. When applying these materials the mechanical properties of welding joints have the same level as the properties ensured by welding with Sv-08G2S steel electrode wire.

Surface and chemical analysis of silicate enamel coating proved the effective application of CuSi3 electrode wire. Machine welding using CuSi3 electrode wire provided minimum damage and changes in chemical composition of silicate enamel coating.